

团 体 标 准

T/CNS 70—2022

高温气冷堆核动力厂主氦风机 调试试验导则

**Commissioning test guideline for helium circulator
of high temperature gas cooled reactor nuclear power plant**

2022-12-16 发布

2023-04-01 实施

中国核学会 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验项目及验收准则 1

5 试验条件及要求 2

6 试验内容 4

7 试验记录 6

8 试验报告 6

附录 A（规范性） 7

附录 B（资料性） 8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：华能山东石岛湾核电有限公司、西安热工研究院有限公司、华能核能技术研究院有限公司。

本文件主要起草人：严义杰、王天柱、朱英杰、李超、陈光建、赵峰、叶林、郑金、马晓珑、黄建利、杨加东、黄健。

高温气冷堆核动力厂主氦风机调试试验导则

1 范围

本文件规定了高温气冷堆核动力厂主氦风机调试的试验项目、试验方法和验收准则技术要求。
本文件适用于电磁轴承支承内置式主氦风机调试。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

主氦风机 helium circulator

用于驱动高温气冷堆一回路冷却剂工质循环流动的装置。

4 试验项目及验收准则

4.1 试验项目

主氦风机调试试验项目包括以下试验项目：

- a) 主氦风机单体试验：
 - 1) 主氦风机筒体端盖安装前的单体试验；
 - 2) 主氦风机筒体端盖安装后的单体试验。
- b) 主氦风机冷态性能试验；
- c) 主氦风机热态性能试验。

4.2 验收准则

4.2.1 筒体端盖安装前单体试验的验收准则：

- a) 主氦风机安装过程中，对风机挡板、电磁轴承、驱动电机等设备进行检查与试验。相关验收准则如下：安全准则：无。
- b) 运行准则：
 - 1) 手动驱动挡板，开、关到位，指示正确；
 - 2) 用电动装置驱动挡板，开、关到位，指示正确；“非能动开关位”动作到位，指示正确；挡板全开、全关时程均 ≤ 15 s；
 - 3) 电磁轴承控制电流值、轴位移及振动值、轴承温度值满足电磁轴承的控制要求，详见表 A.1 中的对应报警限值；
 - 4) 主氦风机联锁动作限值正确。

4.2.2 筒体端盖安装后单体试验的验收准则：

- a) 安全准则：无；
- b) 运行准则：

- 1) 电磁轴承与电机相关参数满足设计要求见表 A.1;
- 2) 在一回路常温常压空气介质下, 风机挡板非能动启闭转速低于设计限值。

4.2.3 主氦风机冷态性能试验验收准则:

- a) 安全准则: 无;
- b) 运行准则:
 - 1) 挡板关闭时间 ≤ 15 s;
 - 2) 进口温度 $< 65^{\circ}\text{C}$;
 - 3) 电机绕组及电磁轴承绕组温度 $< 120^{\circ}\text{C}$;
 - 4) 振动值(时间平均) < 2.8 mm/s;
 - 5) 调速范围 20 %~105 %;
 - 6) 电机功率小于等于额定功率。

4.2.4 主氦风机热态性能试验验收准则:

- a) 安全准则: 挡板关闭时间小于 30 s;
- b) 运行准则:
 - 1) 进口温度在 220°C ~ 250°C 之间;
 - 2) 电机绕组及电磁轴承绕组温度 $< 120^{\circ}\text{C}$;
 - 3) 调速范围 20 %~105 %;
 - 4) 振动值(时间平均) < 2.8 mm/s;
 - 5) 电机功率小于等于额定功率。

5 试验条件及要求

5.1 主氦风机单体试验条件

5.1.1 筒体端盖安装前单体试验条件

5.1.1.1 先决条件

筒体端盖安装前单体试验先决条件如下:

- a) 一回路的蒸汽发生器、反应堆压力容器与热气导管已安装完成;
- b) 除主氦风机电机腔筒体端盖、冷却器及相应冷却水系统、电机腔除湿装置外, 主氦风机其余机、电、仪设备均安装完成;
- c) 主氦风机相关的电力系统调试完成且可用;
- d) 主氦风机相关电气贯穿件调试完成且可用;
- e) 主氦风机配属的变频器电源调试完成且可用;
- f) 电磁轴承的控制柜安装和电气线路接线完成可用;
- g) 风机挡板的控制、电气部分已安装完成;
- h) 主氦风机相关的 DCS 系统调试完成且可用, DCS 上可以实现主氦风机各项参数(包括温度、压力、流量等热工参数)的控制、测量与记录;
- i) 各电气装置绝缘电阻测量完成, 且测量结果合格, 可参考表 B.1 进行数据记录。

5.1.1.2 初始状态条件

筒体端盖安装前单体试验初始状态条件如下:

- a) 一回路为常温常压干燥空气;
- b) 主氦风机电机、电磁轴承、变压器、变频器、设冷水等相关设备与机柜无故障或报警。

5.1.2 筒体端盖安装就位后单体试验条件

5.1.2.1 先决条件

筒体端盖安装就位后单体试验先决条件如下：

- a) 主氦风机安装端盖前的单体试验完成，且结果合格；
- b) 主氦风机电机腔除湿装置安装完成，并检查合格；
注：电机腔除湿装置用于控制电机腔内湿度，防止一回路水分在电机腔内聚集冷凝；
- c) 主氦风机电机腔筒体端盖及冷却器安装到位，并检查合格；
- d) 电机冷却器进、出冷却水管冲洗并安装完成；
- e) 主氦风机相关冷却水系统调试完成且可用。

5.1.2.2 初始状态条件

筒体端盖安装就位后单体试验初始状态条件如下：

- a) 一回路为常温常压干燥空气，且一回路封闭；
- b) 主氦风机电机、电磁轴承、变压器、变频器、设冷水等相关设备与机柜无故障或报警。

5.2 主氦风机冷态性能试验

5.2.1 先决条件具体如下：

- a) 主氦风机安装阶段的单体调试试验完成；
- b) 一回路压力边界安装完成，且一回路边界封闭；
- c) 主氦风机本体安装完成；
- d) 主氦风机配属的变频器电源调试完成且可用；
- e) 电磁轴承系统调试完成且可用；
- f) 风机挡板的控制、电气部分调试完成且可用；
- g) 主氦风机相关的电力系统调试完成且可用；
- h) 主氦风机相关的 DCS 系统调试完成且可用，DCS 上可以实现主氦风机各项参数（包括温度、压力、流量等热工参数）的控制、测量与记录；
- i) 主氦风机相关的设备冷却水系统调试完成且可用。

5.2.2 初始状态条件具体如下：

- a) 一回路充压不超过主氦风机允许运行的最高压力；
- b) 主氦风机电机、电磁轴承、变压器、变频器、设冷水等相关设备与机柜无故障或报警。

5.3 主氦风机热态性能试验

5.3.1 先决条件具体如下：

- a) 已完成主氦风机的冷态性能试验，各部件设备正常；
- b) 一回路封闭，且一回路系统冷态工况下泄漏率满足设计指标；
- c) 主氦风机相关的 DCS 系统调试完成且可用；
- d) 主氦风机相关的电力系统调试完成且可用；
- e) 主氦风机相关的设备冷却水系统调试完成且可用；
- f) 一回路加压相关的氦气净化系统调试完成且可用。

5.3.2 初始状态条件具体如下：

- a) 一回路内初始氦气压力不超过常温下一回路压力容器能承受的最大压力，氦气杂质含量满足设计要求；

注：随着一回路升温，逐步往一回路充压，直至达到主氦风机热态试验要求的工质温度与压力。

- b) 堆芯燃料球装料高度达到设计位置。

6 试验内容

6.1 主氮风机单体试验内容

6.1.1 筒体端盖安装前单体试验内容

6.1.1.1 风机挡板安装后试验具体如下：

- a) 手动驱动挡板动作到“开”与“关”位，确认挡板动作到位，指示正确；
- b) 电动驱动挡板动作，分别到“开”、“关”及“非能动开关位”各两次，确认挡板动作到位，指示正确，参考表 B.4 记录挡板全开、全关时程。

6.1.1.2 电磁轴承静悬浮试验：静悬浮 2 h，参考表 B.2，每小时记录 1 次电磁轴承静悬浮时的参数。

6.1.1.3 启动-停车及联锁信号验证试验具体如下：

- a) 验证主氮风机停机联锁信号：
 - 1) 电磁轴承中轴的径向位置（高报警、高高停车）联锁信号；
 - 2) 电磁轴承中轴的轴向位置（高报警、高高停车）联锁信号；
 - 3) 电磁轴承温度（高报警、高高停车）联锁信号；
 - 4) 电机绕组温度（高报警、高高停车）联锁信号；
 - 5) 因电磁轴承系统硬件故障或电机转子跌落的制动停车信号。
- b) 电机点动：
 - 1) 悬浮电磁轴承静；
 - 2) 变频器正常、DCS 正常；
 - 3) 点动电机 2 s~3 s，确认现场无异常声音，目视确定电机主轴转向正确；
注：若电机转向不正确，改变电源相序，重新进行电机点动试验。
- c) 电机启动：
 - 1) 电磁轴承静悬浮；
 - 2) 变频器正常、DCS 信号正常；
 - 3) 启动电机，并在启动转速下稳定运行 5 min，确认电机运行无异常。
- d) 电机停止：
停止电机，确认电机正常停止。

6.1.2 筒体端盖安装后单体试验内容

6.1.2.1 电磁轴承静悬浮试验

静悬浮 2 h，参考表 B.2，每小时记录 1 次电磁轴承静悬浮时的参数。

6.1.2.2 主氮风机低负荷调速试验

具体如下：

- a) 试验开始前，按表 B.3 进行试验前的事项检查，并记录；
- b) 启动主氮风机后，从启动转速到最高转速分档逐步升速进行调试，在每档速度值稳定运行不少于 10 min，参考表 B.2 记录相关数据。
注1：分档应尽量平均，建议不少于 10 档。
注2：若运行过程出现报警或故障，需在调试清除报警或故障后，重复该速度档试验，试验成功后方可进行下一档的测试。

6.1.2.3 风机挡板非能动启闭试验

具体如下：

- a) 启动主氦风机，并以 100 r/min 作为升速跨度进行升速，每档转速保持 5 min，观察增速过程中流量变化，直至至挡板打开，确认挡板开启转速低于设计值，参考表 B.8 进行数据记录。

注：将每档转速下的流量，与挡板处于“能动全开位”时不同转速下的流量值进行对比，确认风机挡板是否“非能动开启”。

- b) 主氦风机停机，观察减速过程中流量变化，确认风机挡板“非能动关闭”，参考表 B.8 进行数据记录。

6.2 主氦风机冷态性能试验内容

具体如下：

- a) 投运设冷水系统；
- b) 投运相关 DCS 系统；
- c) 挡板处于非能动状态；
- d) 投运电磁轴承系统，使主氦风机转子悬浮；
- e) 主氦风机由零频率逐渐增大至最大转速，并维持运行 15 min，参考表 B.5 记录参数；
- f) 主氦风机冷态性能测试：
 - 1) 从启动转速到最高转速分档逐步升速进行调试，在每档速度稳定时参考表 B.5 记录各项参数，每隔 5min 记录 1 次，共记录 3 次；
 - 2) 根据试验结果绘制主氦风机冷态工况流量~转速曲线（ $Q \sim n$ ）、压力升~转速曲线（ $\Delta P \sim n$ ）和功率~转速曲线（ $N \sim n$ ）；
- g) 刹车和惰转试验
 - 1) 主氦风机转速保持在额定转速时，分别进行变频器控制刹车停机和断电源停机各一次，参考表 B.6 记录转速变化和时间的关系；
 - 注：风机停止转动前，不得关断电磁轴承的电源和控制。
 - 2) 主氦风机转速为零后关电磁轴承电源、控制器，关相关仪表电源；
 - 3) 停机 2 h 后关闭设冷水阀门。
- h) 挡板试验
 - 1) 能动启闭试验时，主氦风机处于停机状态，电动装置驱动挡板启、闭 3 次，测量挡板动作时的电动装置启动电流和运行电流，依据电流的变化过程获得动作时间，参考表 B.7 进行数据记录；
 - 2) 非能动启闭试验时挡板处于非能动状态，主氦风机启停过程中，观察风机流量的变化过程与风机转速变化相符，以确认挡板打开-关闭动作正常，非能动启、闭 3 次，参考表 B.8 进行数据记录；
 - 3) 挡板小开度试验时，挡板位于能动关位，主氦风机保持启动转速运行，点击小开度测试按钮，参考表 B.9 记录每点动一次后一回路的流量、温度、压力。

6.3 主氦风机热态性能试验内容

具体如下：

- a) 核实一回路压力边界封闭，且初始充压已完成；
- b) 投运设冷水系统；
- c) 投运相关 DCS 系统；
- d) 挡板处于非能动状态；
- e) 投运电磁轴承系统，使主氦风机转子悬浮；
- f) 主氦风机启动后转速逐渐提升到中间转速，稳定运行 15 min，观察主氦风机的各项参数，参考表 B.5 记录参数；

- g) 随着一回路升温,逐步往一回路充压,直至达到主氦风机热态试验要求的工质温度与压力;
- h) 主氦风机热态性能测试
 - 1) 从启动转速到最高转速分档逐步升速进行调试,在每档速度稳定时参考表 B.5 记录各项参数,每隔 5 min 记录 1 次,共记录 3 次;
 - 2) 根据试验结果绘制主氦风机冷态工况流量~转速曲线 ($Q \sim n$)、压力升~转速曲线 ($\Delta P \sim n$) 和功率~转速曲线 ($N \sim n$);
- i) 刹车和惰转试验
 - 1) 主氦风机转速保持在额定转速时,分别进行变频器控制刹车停机和断电源停机各一次,参考表 B.6 记录转速变化和时间的关系;
注:风机停止转动前,不得关断电磁轴承的电源和控制。
 - 2) 主氦风机转速为零后关电磁轴承电源、控制器,关相关仪表电源;
 - 3) 停机 2 h 后关闭设冷水阀门。
- j) 挡板试验
 - 1) 能动启闭试验时,主氦风机处于停机状态,电动装置驱动挡板启、闭 3 次,测量挡板动作时的电动装置启动电流和运行电流,依据电流的变化过程获得动作时间,参考表 B.7 进行数据记录;
 - 2) 非能动启闭试验时挡板处于非能动状态,主氦风机启停过程中,观察风机流量的变化过程与风机转速变化相符,以确认挡板打开-关闭动作正常,非能动启、闭 3 次,参考表 B.8 进行数据记录;
 - 3) 挡板小开度试验时,挡板位于能动关位,主氦风机保持启动转速运行,点击小开度测试按钮,参考表 B.9 记录每点动一次后一回路的流量、温度、压力。

7 试验记录

主氦风机单体试验、冷态性能试验与热态性能试验的数据记录表格详见表 B.2~B.9。

注:表B.2~B.9为参考表格,可根据现场情况进行适当修改。

8 试验报告

试验结束时,应提交试验报告,可采取如下格式:

- a) 概述:试验任务和目的,测试系统简介。
- b) 试验方法:包括测试项目、测点布置、测试方法、所用仪器等。
- c) 试验依据:依据本导则开展主氦风机调试试验。
- d) 试验数据整理:建立试验结果汇总表。
- e) 试验结果分析和评价,参考表 B.10。
- f) 结论和建议:应简明地对试验结果做出结论,评价其各项指标,指出是否与原设计或与相关标准指标相符。

附 录 A
(规范性)
参数限值

主氮风机单体调试参数限值应符合表A. 1的要求。

表A. 1 主氮风机单体调试参数限值

序号	参数	单位	限值	标准
1	轴径向电流报警	A	35	设计值
2	轴径向电流停机	A	40	设计值
3	轴径向动态电流报警	A	4.0	设计值
4	轴径向动态电流停机	A	5.5	设计值
5	轴轴向电流报警	A	45	设计值
6	轴轴向电流停机	A	50	设计值
7	轴轴向动态电流报警	A	4.0	设计值
8	轴轴向动态电流停机	A	5.0	设计值
9	轴径向位移报警	mm	0.08	设计值
10	轴径向位移停机	mm	0.10	设计值
11	轴轴向位移报警	mm	0.08	设计值
12	轴轴向位移停机	mm	0.10	设计值
13	电机及轴承座振动报警	mm/s	2.8	设计值
14	电磁轴承报警温度	℃	120	设计值
15	电磁轴承停机温度	℃	155	设计值
16	电机绕组报警温度	℃	120	设计值
17	电机绕组停机温度	℃	155	设计值

附 录 B
(资料性)
试验记录表格

B.1 主氮风机设备绝缘试验记录表见表 B.1。

表 B.1 主氮风机设备绝缘试验记录表

环境温度		℃		环境湿度		%RH		
测试仪表								
仪表名称		仪表型号		仪表编号		有效期		
绝 缘 试 验	测试项目		测试电压等级		试验标准		实测值 (MΩ)	是否合格
	驱动电机三相定子绕组对机壳		2500V DC		≥100 MΩ			
	风机挡板电动装置三相绕组对机壳		500V DC		≥100 MΩ			
	电磁轴承动力引线对地的绝缘电阻		500V DC		≥12 MΩ			
	控制信号线对地		250V DC		≥5 MΩ			
备注:								
结论:								
试验负责人:				试验日期:				

B.2 主氮风机安装就位后试验记录参数表见表 B.2。

表 B.2 主氮风机安装就位后试验记录参数表

序号	测量参数	单位	DCS 记录
电磁轴承			
1	上径向电磁轴承的径向位置	μm	
2	下径向电磁轴承的径向位置	μm	
3	推力磁轴承轴的轴向位置	μm	
4	转速传感器	r/min	
5	上径向磁轴承温度	$^{\circ}\text{C}$	
6	下径向磁轴承温度	$^{\circ}\text{C}$	
7	推力磁轴承温度	$^{\circ}\text{C}$	
8	上径向磁轴承电流	A	
9	下径向磁轴承电流	A	
10	推力磁轴承电流	A	
电动机			
1	电动机绕组温度	$^{\circ}\text{C}$	
2	电机腔温度	$^{\circ}\text{C}$	
3	上径向轴承座振动	mm/s	
4	下径向轴承座振动	mm/s	
5	电机基座振动	mm/s	
电机冷却器			
1	冷却器进水温度	$^{\circ}\text{C}$	
2	冷却器出水温度	$^{\circ}\text{C}$	
3	冷却器出水压力	kPa	
4	设冷水流量	t/h	
变频器			
1	变频器转速反馈	r/minr/min	
2	变频器电流反馈	A	
3	变频器电压反馈	V	
4	变频器功率反馈	kW	
一回路参数			
1	主氮风机流量	kg/s	
2	叶轮进气温度	$^{\circ}\text{C}$	
3	主氮风机进出口压差	kPa	
4	主氮风机出口压力	kPa	

B.3 主氮风机低负荷调速试验记录见表 B.3。

表 B.3 主氮风机低负荷调速试验记录表

地点		时间	
操作班组/人员:			
检验人员:			
1. 主氮风机挡板能动全开。			
2. 确认一回路为常温、常压干燥空气（或氮气）。			
3. 检查设冷水系统已启动，工作正常。			
4. 确保联锁装置没有问题。			
5. 检查变频器制动系统的测试记录并确保其工作正常。			
6. 确保与主氮风机相关的 DCS 信号正常。			
7. 启动电机前，确认转子已被电磁轴承悬浮。			
8. 已完成转子旋转方向确认。			
试验结果及结论:			

B.4 风机挡板单体试验记录见表 B.4。

表 B.4 风机挡板单体试验记录表

挡板编码:	试验次数	挡板动作	最大电流 A	电流至零时间 s	指示
手动驱动	1	开			
	2	关			
电动驱动	1	开			
	2	关			
	3	开			
	4	关			
	5	非能动开关位			
	6	非能动开关位			
试验负责人:			试验日期:		

B.5 主氮风机性能试验数据记录表见表 B.5。

表 B.5 主氮风机性能试验数据记录表

设备名称	单位	设备编号	期望值	实际结果		
				0 min	5 min	10 min
转速						
电流						
电压						
功率						
主氮风机电机绕组温度						
主氮风机轴向轴承温度						
主氮风机上径向轴承温度						
主氮风机下径向轴承温度						
主氮风机上电机腔温度						
主氮风机下电机腔温度						
主氮风机进出口压差						
一回路压力						
主氮风机进口温度						
主氮风机进口流量						
上径向轴承振动						
下径向轴承振动						
主氮风机电机基座振动						
设备冷却水进口温度						
设备冷却水出口温度						
试验负责人：			试验日期：			

B.6 主氮风机刹车或惰转试验记录表见表 B.6。

表 B.6 主氮风机刹车或惰转试验记录表

序号	设定转速 r/min	测量转速 r/min	惰转时间 s
1	3800		
2	3500		
3	3000		
4	2500		
5	2000		
6	1500		
7	1000		
8	500		
9	0		
试验负责人:		试验日期:	

B.7 风机挡板试验数据记录表见表 B.7。

表 B.7 风机挡板试验数据记录表

挡板编码	试验次数	挡板动作	最大电流 A	电流至零时间 s	是否正常
	1	关			
	2	关			
	3	关			
试验负责人：			试验日期：		

B.8 风机挡板非能动试验数据记录表见表 B.8。

表 B.8 风机挡板非能动试验数据记录表

挡板编码	试验次数	挡板动作	转速	流量	时间
	1	开启			
		关闭			
	2	开启			
		关闭			
	3	开启			
		关闭			
试验负责人：			试验日期：		

B.9 风机挡板小开度试验数据记录表见表 B.9。

表 B.9 风机挡板小开度试验数据记录表

挡板编码	试验次数	一回路流量	一回路温度	一回路压力
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	•			
	•			
	•			
试验负责人：		试验日期：		

B.10 试验结果评价单见表 B.10。

表 B.10 试验结果评价单

程序编号						
序号	试验项目			结果评价		试验负责人/日期
(例)6.1	机柜上电前检查			满意		XXX/XX
试验 遗留 内容						
报告状态	TAC ☐	TEN ☐	PAC ☐	PEN ☐	IAC ☐	IEN ☐
签字	试验负责人：			日期：		